



EESTI MAAÜLIKOOL
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Kristjan Riik

**PÕLLUMAJANDUSETTEVÕTTE TAIMEKASVATUSE SÜSINIKU
JALAJÄLG**

**CARBON FOOTPRINT OF CROP PRODUCTION IN AGRICULTURAL
HOLDING**

Bakalaureusetöö
Põllumajandussaaduste tootmise ja turustamise õppekava

Juhendajad: Vanemteadur Karin Kauer, PhD
Dotsent Are Selge, PhD

Tartu 2021

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51006			
Autor: Kristjan Riik		Õppekava: Põllumajandussaaduste tootmine ja turustamine	
Pealkiri: Põllumajandusettevõtte taimekasvatuse süsiniku jalajälg			
Lehekülgi: 31	Jooniseid: 2	Tabeleid: 8	Lisasid: -
Õppetool: Mullateaduse õppetool; Taimekasvatuse ja taimebioloogia õppetool			
Uurimisvaldkond: B410 Mullateadus, põllumajanduslik hüdroloogia; B390 Taimekasvatus, aiandus, taimekaitsevahendid, taimehaigused			
Juhendajad: Karin Kauer <i>PhD</i> , Are Selge <i>PhD</i>			
Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu, 2021			
<p>Kuna põllumajandussektor moodustab kogu globaalsest emissioonist 11,8% ja Eestis 7,2%, siis otsitakse lahendusi, kuidas vähendada põllumajanduses tekkivat C jalajälge. Töö eesmärgiks oli uurida Hummuli Agro OÜ taimekasvatusest tekkivat C jalajälge ja leida võimalusi C jalajälje vähendamiseks. C jalajälje arvutamiseks kasutati kalkulaatorit <i>Cool Farm Tool</i>. Arvutamiseks oli vaja järgmisi sisendeid: mullaandmed, kasvatatud kultuuri agrotehnoloogia, saagiandmed, kasutatud mineraalväetised ja taimekaitsevahendid ja nende kogused, vedel- ja tahesõnnikuga mulda viidava N kogused, kütusekulu põlluharimistöodel (töökordade arv põllul, kui kütusekulu pole teada). C jalajälje vähendamiseks testiti erinevaid stsenaariume: väetamisel N-sensori kasutamine ja otsekülvi rakendamine. Tulemuseks saadi, et ettevõtte taimekasvatusest tulenev emissioon oli kokku 2450 t CO₂e. Teraviljade kasvatamise C jalajälg lõpptoodangu massi kohta oli suurem võrreldes tervikkoristuse ja rohumaa-delt loomasööda tootmisega. Taimekasvatusest tulenevat C jalajälge on võimalik vähendada vähendades mineraalväetiste kasutamist (nt. N-sensori kasutamine väetamisel) ja/või rakendades otsekülvi (väheneb töövõtete arv ja kütusekulu).</p>			
Märksõnad: C jalajälg, taimekasvatus, <i>Cool Farm Tool</i> , N-sensor, otsekülv			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Bachelor's Thesis	
Author: Kristjan Riik		Specialty: Production and Marketing of Agricultural Products	
Title: Carbon footprint of crop production in agricultural holding			
Pages: 31	Figures: 2	Tables: 8	Appendixes: -
Chair: Chair of Soil Science; Chair of Crop Science and Plant Biology Field of research: B410 Soil science, agricultural hydrology; B390 Phytotechny, horticulture, crop protection, phytopathology Supervisors: Karin Kauer <i>PhD</i> , Are Selge <i>PhD</i> Place and date: Tartu, 2021			
As the agricultural sector accounts for 11.8% of global emissions and 7.2% in Estonia, solutions are sought on how to reduce emissions in agriculture. The aim of the work was to examine the C footprint resulting from the crop production of Hummuli Agro OÜ and to find possibilities to reduce the C footprint. The calculator Cool Farm Tool is used to calculate the C footprint. For calculation, the data were needed: soil data, crop agrotechnology, harvest data, used mineral fertilisers and plant protection products and their quantities, nitrogen content in liquid and solid manure, fuel consumption in field cultivation (number of operation in the field if fuel consumption is unknown). In order to reduce the C footprint, different scenarios were tested: using N-sensor for fertilization and application of direct sowing. The results showed that the total C footprint from crop production in the company amounted to 2450 t CO ₂ e. The C footprint for the growing of cereals per yield was higher compared to total harvesting and the production of animal feed from grasslands. The C footprint of crop production can be reduced by reducing the use of mineral fertilisers (e.g. N-sensor application for fertilizing) and/or by applying direct sowing (reduced number of operations in the field and fuel consumption).			
Keywords: Carbon footprint, crop production, Cool Farm Tool, N-sensor, direct sowing			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	7
1.1. C jalajälje definitsioon	7
1.2. Kasvuhoonegaaside emissioonid põllumajanduses	8
1.3. Kasvuhoonegaaside emissioonide vähendamise võimalused	9
1.3.1. Mulla süsinikuvaru suurendamine	9
1.3.2. Mahe vs tavapõllumajandus?	10
1.3.3. Agrotehnoloogia valik	11
1.3.4. N-sensori kasutusele võtmine	12
2. METOODIKA	13
3. TULEMUSED JA ARUTELU	15
3.1. Ettevõttes kasvatatud kultuuride agrotehnoloogia	15
3.1.1. Mais	15
3.1.2. Kaer	15
3.1.3. Oder	16
3.1.4. Suvinisu	16
3.1.5. Talinisu	17
3.1.6. 2019. aastal rajatud rohumaad	17
3.1.7. Lühiajaline rohumaad	17
3.1.8. Pikaajaline rohumaad	18
3.2. Ettevõtte kogu C jalajälg taimekasvatusest	18
3.2.1. Teraviljakasvatuse C jalajälg	19
3.2.2. Rohumaade C jalajälg	21
3.3. Teraviljakasvatuse ja rohumaade C jalajälje jagunemised sõltuvalt emissiooniallikatest	22
3.4. N-sensori kasutamine	23
3.5. Otsekülvi kasutamine	24
3.6. N-sensori ja otsekülvi kasutamine	25
KOKKUVÕTE	27
KASUTATUD KIRJANDUS	28

SISSEJUHATUS

Kasvuhoonegaaside (KHG) kontsentratsiooni suurenemine atmosfääris on põhjustanud kliimamuutusi. Kasvuhoonegaasideks on veeaur, süsinikoksiidid (CO_2), metaan (CH_4), dioksiid (N_2O) ning fluoritud gaasid ehk f-gaasid (fluorosüivesinikud, väävelheksafluoriid ja perfluorosüivesinikud). Neist ohtlikumad on CH_4 ja N_2O , sest võrreldes f-gaasidega tekib neid rohkem ning nende kliima globaalse soojenemise potentsiaal on palju suurem kui CO_2 (Põllumajandusloomade... 2015). Kliimamuutuste leevendamiseks ja nendega kohanemiseks otsitakse lahendusi nii Euroopa Liidu kui liikmesriikide tasemel ning ülemaailmselt. Euroopa Liit oli loonud kliimaeesmärgid, kus 2020. aastaks tuli KHG heitkoguseid vähendada 20% võrreldes 1990. aastaga, 2030. aastaks 40% ja 2050. aastaks 80–95%. Lisaks tuleb ka põllumajanduses vähendada CO_2 , CH_4 ja N_2O heiteid. Põllumajandussektor moodustab 11,8% kogu globaalsest emissioonist (World Greenhouse Gas Emissions, 2016). Sellest umbes 5,8% moodustab CH_4 ja 4,1% N_2O emissioon, mis pärineb peamiselt loomakasvatusest ja piimatootmisest (World Greenhouse Gas Emissions, 2016). Eestis moodustas põllumajandussektor 2018. aastal 7,2% KHG summaarsest heitekogusest (Kokkuvõte ..., 2018a). Põllumajandussektori heitkogused vähenesid 2018. aastaks võrreldes baasaastaga (1990) 46,9% (Kokkuvõte ..., 2018a).

Kliimasoojenemisele pööratakse tähelepanu, kuna Euroopa Liidu ja Maailma Terviseorganisatsioon Euroopa Regionaalbüroo rahastatud uuringute kohaselt võivad kliimamuutused mõjutada haiguste ja terviseprobleemide epidemioloogiat (Kliimamuutuste ..., 2009). Samuti mõjutavad kliimamuutused loomade ja taimede tervist otseselt või kaudselt (Kliimamuutuste ..., 2009). Globaalne soojenemise ajal suudavad kahjurputukad paremini paljuneda ja samuti suudavad putukad edasi kanda ka haigusi taimedele (Kliimamuutuste ..., 2009). Prognooside kohaselt mõjutavad kliimamuutused märkimisväärselt eksootiliste parasiitide sissetoomist uutesse geograafilistesse piirkondadesse: kliimaolude pehmenedes võivad uued või rändavad taimekahjurid senisest laiemalt levida ja ümber asuda piirkondadesse, mida varem peeti kahjurivabaks (Kliimamuutuste ..., 2009). Kliimamuutustega sagenevad ekstreemsed ilmastikunähtused, kaasnevad veerežiimi ja –

taseme muutused (Kliimamuutuste ..., 2015). Praegusel ajal pööratakse kliimasoojenemisele väga suurt tähelepanu ja proovitakse igas valdkonnas leida lahendusi, kuidas aeglustada kliimasoojenemist vähendades KHG emissiooni. Enne, kui saab hakata aeglustama kliimasoojenemist, tuleb kõigepealt kindlaks teha, kui suur on erinevate valdkondade tegevuste keskkonna mõju, millised töövõtted suurendavad ja vähendavad KHG emissiooni. Hinnangut on võimalik väljendada süsiniku (C) jalajälje kaudu, mis kirjeldab KHG koguhulka, mis kaasneb mingi tegevusega või toote olemusringiga ning väljendatakse CO₂ ekvivalendina. C jalajälje määramine võimaldab kvantifitseerida erinevate tootmismeetodite optimeerimist. Kui on teada, millised töövõtted põhjustavad suurt C jalajälge, siis saab selle vähendamiseks otsida teisi lahendusi.

C jalajälje arvutamine on töömahukas protsess, seetõttu on väljatöötatud mitmeid kalkulaatoreid, mis lihtsustavad C jalajälje arvutamist ning võimaldavad põllumajandustootjal erinevaid stsenaariumeid testides valida väiksema C jalajäljega tootmine.

Käesoleva töö eesmärgiks oli välja selgitada põllumajanduseettevõtte taimekasvatustegevuse tagajärjel tekkivat C jalajälge kasutades põllumajandustootjatele väljatöötatud kalkulaatorit *Cool Farm Tool* ning leida võimalusi C jalajälje vähendamiseks taimekasvatuses.

Töö hüpoteesiks oli, et ettevõtte taimekasvatusest tulenevat C jalajälge on võimalik vähendada, muutes ettevõttes seni rakendatud agrotehnilisi võtteid.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. C jalajälje definitsioon

C jalajalg on CO₂ ja teiste kasvuhoonegaaside (vesi, CH₄, N₂O jt.) heite koguhulk (CO₂ekvivalentides (CO₂e)), mis kaasneb inimese, organisatsiooni või mõne muu üksuse tegevusega või tekib toote või teenuse olerusringi jooksul (Eesti süsiniku jalajalg, 2016). C jalajälje välja selgitamine annab võimaluse mõõta iga tegevuse mõjusid keskkonnale ja kliimamuutustele. 1900. aastal esitasid kaks Columbia ülikooli teadlast Mathis Wackernagel ja William Rees C jalajälje käsitusviisi, öeldes, et C jalajälje uurimine aitab kirjeldada, kuidas Maa inimkond üleüldiselt tarbib loodusressursse. C jalajälge käsitletakse viies erinevas kategoorias: kaubad, teenused, toit, eluase ja C, kus näiteks viimase arvestus kajastab, kui suur ala maailmas peab olema kaetud metsaga, et ära siduda atmosfääri paisatud CO₂ (Kangur, 2019).

Suurimad emissiooni tekitajad Eestis on energeetikasektor (88%), transpordisektor (13,7%) ja põllumajandussektor (7,2%) (Kokkuvõte..., 2018b). Igal inimesel endal on võimalus muuta oma elustiili, et oma elutegevusega võimalikult vähe kahju kogu maailmale teha. Üheks nõuandeks, et olla kliimasõbralikum, on kasutada kliimasõbralikku transporti. Selle all on eelkõige mõeldud jalgsi, rattaga või ühistranspordiga liikumist, et vähendada sõiduautodest tekkivat CO₂ ja teiste heidete tekkimist. Lisaks toidule ja transpordile tuleks üle vaadata ka elektrikasutus ja seda edaspidi teha võimalikult säästlikult. Näiteks kasutada vett säästlikult, talvel kütta mõistlikult, kodust lahkudes kustutada kõik tuled ning kasutada energiasäästlikke elektroonikaseadmeid (märgis pakendil).

C jalajalg väljendatakse CO₂e lõpptoodangu (nt. piim, terad vms.) koguse või pindalaühiku kohta. Selleks tuleb kokku liita toote tootmisel kasutatud sisendite poolt tekitatud heited.

Väljatöötatud kalkulaatorid pakuvad koheseid tulemusi ja võimalust käivitada stsenaariume “mis oleks, kui”. Põllumajandustootjad saavad neid kalkulaatoreid kasutada KHG emissioonide vähendamise võimaluste uurimiseks, samas kui teised tarbijad saavad neid

kasutada keskkonnamõjude kvantifitseerimiseks ja haldamiseks ülemaailmsetes tarneahelates. See võimaldab teha kindlaks kriitilised kohad ja aitab põllumajandustootjatel leida lahendusi kuidas vähendada ettevõtte C jalajälge samas aitab testida alternatiivseid majandamisstsenaariume. Võrdlemaks ühe kalkulaatoriga või arvestusmeetodiga saadud väärtusi teiste kalkulaatoritega (meetoditega) tuleb alati teada ja arvestada, milliseid sisendeid on arvutustes kasutatud.

1.2. Kasvuhoonegaaside emissioonid põllumajanduses

Põllumajanduse põhilised kasvuhoonegaasid on N_2O ja CH_4 . N_2O tekib eelkõige taimekasvatusest lämmastik (N) väetiste ja orgaaniliste väetiste kasutamise tõttu. CH_4 tekib peamiselt loomakasvatusest mäletsejate (veised, lambad) seedeprotsessidest ning sõnnikukäitlusest (Kliimamuutused..., 2014).

CH_4 on tähtsusest teine kasvuhoonegaas, mis arvatakse tekitavat 20% kasvuhooneefektist¹. CH_4 kliima globaalse soojenemise potentsiaal on 21 korda suurem kui CO_2 -l, kuid samas on tema heitkogused ka suurusjärgu võrra väiksemad.

CH_4 tekib paljude taimetoiduliste organismide seedekulglas. Mäletsejatest ühed suuremad CH_4 emiteerijad on näiteks veised ja lambad. Kuna tänapäeva maailmas kasvatatakse veiseid rohkem kui teisi mäletsejaid, on just veisekasvatus üheks olulisemaks põhjuseks, miks CH_4 hulk atmosfääris kaldub tõusma. CH_4 tekib ka sõnniku ilma hapnikuta lagunemisel. Mida suurem on loomakasvatus ja sellega kaasnev sõnnikuhoidla, seda suurem on CH_4 heite kogus (Saastuse ..., 2013). Sõnniku säilitamisel eralduv CH_4 kogus pole suur, kuid heite kogus oleneb sellest, kuidas sõnnikut säilitatakse (tabel 1).

N_2O osatähtsust kasvuhooneefekti tekitamisel globaalse kliimamuutuse tasandil hinnatakse olevat 6 %. N_2O kasvuhooneefekti põhjustav potentsiaal on ligi 265 korda suurem kui CO_2 , kuid samas on N_2O heitkogused mitme suurusjärgu võrra madalamad (Greenhouse Gas

¹ Ligikaudu kolmandik Maa atmosfääri jõudvast kiirgusest peegeldub näiteks pilvedelt, jäält, lumelt ja liivalt kosmosesse tagasi. Ülejäänud kaks kolmandikku neeldub Maa pinnal ja atmosfääris. Soojenenud maapinnast, merest ja atmosfäärist eralduv energia infrapunase soojuskiirgusena, mis läbib atmosfääri. See infrapunakiirgus neeldub soojust neelavates gaasides, näiteks süsinikdioksiidis (CO_2), mis takistab soojusenergia hajumist kosmosesse ja tekitab kasvuhooneefekti (Kasvuhooneefekt, 2021).

Emissions, 2021). N₂O heited tekivad näiteks sünteetiliste ja orgaaniliste väetiste kasutamisel, sõnniku käitlemisel või põllumajandusjääkide põletamisel (Greenhouse Gas Emissions, 2021).

Tabel 1. Metaani emissioon sõnniku säilitamisel (kg aasta/loom) (Saastuse ..., 2013)

Veiserühm	Sõnniku liik	Metaaniemissioon
Lüpsilehmad	Vedelsõnnik	21,0
	Tahesõnnik	3,0
Veised v.a. lüpsilehmad	Vedelsõnnik	6,0
	Tahesõnnik	1,1

Põllumajanduse teiseks oluliseks valdkonnaks on taimekasvatus. Kuna põllumajandusmasinad kasutavad valdavalt diiselkütuseid, on kündmine, külvamine, väetamine ja saagikoristus seotud CO₂ emissioonidega. Lisaks nõuab palju energiat ka taimekaitsevahendite ja N väetise tootmine, mille osakaal võrreldes elektritootmisega või tööstusega on küll väike, kuid mitte olematu. Seetõttu võib öelda, et kõik fossiilkütuste kasutamist suurendavad muutused on vältimatult ka negatiivse kliimamõjuga (The Carbon Footprint ..., 2012).

Ka põlluharimisel lendub mullast õhku CO₂. Mida intensiivsem on mulla harimine (kündmine, kultiveerimine, äestamine jms.), seda suuremalt toimub mulla orgaanilise aine mineralisatsioon, mis viib mulla C varu vähenemisele (Tebrügge ja Düring, 1999). Mida suurem on mulla orgaanilise aine sisaldus, seda suuremas koguses CO₂ võib sealt lenduda. Seetõttu avaldab eriti suurt mõju KHG emissioonile just turvasmuldade harimine (Couwenberg, 2009).

1.3. Kasvuhoonegaaside emissioonide vähendamise võimalused

1.3.1. Mulla süsinikuvaru suurendamine

Selleks, et vähendada CO₂ kontsentratsiooni atmosfääris, on üheks võimaluseks siduda C mulda ja suurendada mulla C varu rakendades selliseid maakasutusvõtteid, mis seda soodustavad. Mulla C varu muutuse ja mulda mineva C sisendi koguse vahel esineb positiivne seos (Lal, 2004a), seega mulla C varu suurendamiseks tuleks suurendada mulda mineva C sisendi kogust või siis aeglustada mulla orgaanilise aine lagunemist, sest C varu muutus sõltub

mulda mineva orgaanilise aine koguse ja ära lagunenu orgaanilise aine tasakaalust (Lal, 2004a). Mineraalse N mulda lisamine stimuleerida mulla orgaanilise aine mineraliseerumist ja seega mulla C varu vähenemist ning väetamise läbi suurenenud C sisendi positiivne mõju mulla C varule ei avaldu (Kauer jt., 2015). Lisaks tuleb C jalajälje arvutamise juures arvestada mineraalväetiste tootmisega ja kasutamisega seotud emissioone (Guo jt., 2010), mis võivad vähendada mulla C varu suurenemisest tingitud positiivset mõju. KHG inventuuri juhendi Tier 1 metoodika järgi arvestatakse, et 1% mulda viidud N-st emiteerub NH_3 või N_2O -na või leostub nitraadina (IPCC, 2006). Väetades orgaaniliste väetistega viiakse mulda orgaanilist ainet ja (sh. ka taimetoitelemente) ja mulla C varu suureneb (Lal, 2004b). Lisaks parandavad orgaanilised väetised mulla füüsikalisi omadusi ja toitainete kättesaadavust mullast, mille tulemusena suureneb maapealne biomass, produktiivsaak kui ka juurte biomass (Tong jt., 2013). Taime juurte lagunemisel tekkiv orgaaniline aine pärineb peamiselt rohumaadel (Gill ja Burke, 2002).

1.3.2. Mahe vs tavapõllumajandus?

Mahe- ja tavaviljelusest tekkiva C jalajälje erinevus sõltub suurel määral mineraalväetiste, taimekaitsevahendite ja maaharimistehnoloogiate kasutamise erinevusest. Tavaviljeluses on peamiseks C jalajälje allikaks mineraalväetiste ja taimekaitsevahendite kasutamine, kuid kuna maheviljeluses ei ole lubatud neid kasutada, siis maheviljeluses on C jalajälje allikaks intensiivsem maaharimine, sest mahepõllumajanduses tuleb umbrohtude ja taimehaiguste ära hoidmiseks tihti kasutada rohkem maaharimisvõtteid (kultuuride äestamine, igal aastal kündmine, minimeeritud harimine enne kündi) võrreldes tavaviljelusega (Vetemaa ja Mikk, 2015). Selleks, et maheviljeluses mulla viljakust säilitada, mulla niiskusrežiimi parandada, vähendada umbrohtumust, haigusi ja kahjureid, tuleks kasvatada külvikorras vahekultuure (Vetemaa ja Mikk, 2015). Eesti Taimekasvatuse Instituut uuris 2008–2014 maheviljeluse eriviiside ja tavaviljeluse mõju mulla viljakusele ja elustikule ning põllukultuuride saagikusele ja kvaliteedile (Maheviljeluse ..., 2014). Seitsmeaastase perioodi jooksul maheviljelus ei põhjustanud mulla väljakurnamist, mida hinnati mulla orgaanilise C sisalduse muutuse kaudu. Ilma sõnnikuta mahekülvikorra mullas hakkas mulla orgaanilise C sisaldus aastate jooksul vähenema, sõnniku kasutamisel ilmnes mulla orgaanilise C suuremine nii mahe- kui ka tavaviljeluse tingimustes. Maheviljeluses saadud saagid erinevatel kultuuridel olid väiksemad võrreldes tavaviljeluse saagikustega (Maheviljeluse ..., 2014). On leitud, et mahe- ja tavaviljelusest tingitud saagi erinevus

on kuni 20% (Skinner jt., 2014). Seega, et maheviljeluses saada sarnaseid saagikoguseid nagu tavaviljeluses, tuleb maheviljeluses kasutada rohkem maad, mis võib vähendada N väetiste ja taimekaitsevahendite mittekasutamisest ja mulla C varu suurenemisest tingitud positiivset mõju C jalajäljele (Smith jt., 2019) ning tegelikult võib maheviljeluse C jalajalg ühe ühiku lõpptoodangu kohta olla suurem (Clark, 2020).

1.3.3. Agrotehnoloogia valik

Põhu või kõrretüü eemaldamine põllult, künnipõhine harimine, mustkesade rakendamine külvikorras mõjuvad mulla C varule negatiivselt suurendades CO₂ emissiooni (Blair jt., 2006). Minimeeritud harimisel ja otsekülvil rakendatakse vähem töövõtteid, millest tulenevalt on ka kütusekulu väiksem, seega neid harimisvõtteid rakendades peaks olema väiksem C jalajalg võrreldes künnipõhise harimisega. Väiksema mullahäiringu tõttu peaks suurenema ka mulla C varu (Putku ja Penu, 2018). Põllumajandusuuringute Keskuse poolt läbi viidud katsest, kus võrreldi sügavkünni ja otsekülvi mõju mulla C varule, selgus, et mulla C seisund näitas minimaalseid erinevusi kahe harimisviisi vahel (statistiliselt olulisi erinevusi ei leitud) (Minimeeritud ..., 2017). Otsekülvi põldudel toimub mulla orgaanilise C sisalduse vertikaalne kihistumine, kus ülemises 5 cm on statistiliselt oluliselt kõrgem mulla orgaanilise C sisaldus võrreldes alumiste kihtidega. Otsekülvi C varu vähenes uuritud 25 cm tõeseduses mullakihi tervikuna, mis tähendab vähem toitaineid mulla elustikule ning laiemalt võttes mõjutab muldade viljakust pikas perspektiivis pigem negatiivselt. Kliimamuutuste kontekstis ei mõju sel juhul otsekülvi rakendamine positiivselt kuna orgaaniline aine akumuleerub mulda väiksemas mahus kui künnipõhisel harimisel (Minimeeritud ..., 2017). Ogle jt. (2019) andmetel minimeeritud harimise positiivne mõju avaldumine mulla C varule sõltub mullaliigist ja kliimaatilistest tingimustest.

1.3.4. N-sensori kasutusele võtmine

Parandades taimede N väetise kasutamiseefektiivsust on võimalik vähendada C jalajälge 36–52% (Liu jt., 2016). N väetise kasutamiseefektiivsuse suurendamist võimaldab täppispõllumajandus, mille oluliseks töövahendiks on N-sensor. N-sensor on optiline seade, mis paigaldatakse traktori katusele ning mis mõõdab taimede N-ga varustatuse taset, reguleerides mõõtmistulemuste põhjal reaalajas külviku väetusnormi. N-sensor tagab optimaalse normiga N väetamise igas põllu erinevas osas (Yara.ee, 2021). Vajaduspõhine väetusnorm eeldab tegeliku N vajaduse kindlaksmääramist täpse ja efektiivse tööriistaga ning kaugseiretehnoloogia annab võimaluse seda infot kiiresti, täpselt ja kuluefektiivselt koguda. Mõõtes taimelehtedelt tagasipeegelduva valguse omadusi, määrab N-sensor kindlaks taimede tegeliku N vajaduse ning reguleerib sellele vastavalt ja vahetult töö käigus väetisekülviku väetusnormi. N-sensori kasutamise eelised (Yara.ee, 2021):

- iga põllu osa saab optimaalse koguse N;
- suurendab taimede potentsiaali kogu põllu ulatuses;
- suurendab väetamise efektiivsust;
- vähendab koristusjärgselt põllule jääva N kogust;
- tõstab saagikust;
- saak on ühtlasema kvaliteediga;
- väheneb aja- ja rahakulu koristusele;
- väheneb N leostumise riski keskkonda

On leitud, et N-sensori kasutamisel väheneb N-väetamise kulu kuni 14% ja C jalajälg võib väheneda 10–30% (Yara.ee, 2021).

2. METOODIKA

Käesolevas töös kasutatakse C jalajälje arvutamiseks kalkulaatorit *Cool Farm Tool* (CFT) (Hillier jt., 2011) (<https://app.coolfarmtool.org/>). Töös selgitati välja Hummuli Agro OÜ 2019. aasta taimekasvatusega seotud C jalajälge. Hummuli Agro OÜ tegeleb peamiselt piimakarjakasvatusega. Haritavat maad on 1910 ha, enamus neist on rohumaad (1253 ha), ülejäänud põldudel kasvatatakse teravilja ja maisi. C jalajälje arvutamiseks koguti ettevõttest andmeid, mida oli vaja kalkulaatoriga CFT C jalajälje arvutamiseks. Vajaminevad andmed olid: mullaandmed (lõimis, pH, mulla orgaanilise aine sisaldus), kasvatatud kultuuride agrotehnoloogia ja töökordade arv põllul, kasutatud mineraalväetiste kogused, N väetises oleva ammonium- ja nitraat-N vahekord, mulda viidud vedel- ja tahesõnniku ning taimekaitsevahendite kogused, sõnniku N kontsentratsioonid ning kütusekulud põllul läbiviidud töödel. Ettevõtte poolt antud kütusekulu iga kultuuri kohta arvestati maisi ja teraviljade puhul. Rohumaade puhul olid kütuseandmed esitatud lühi- ja pikaajaliste rohumaade kohta, kuid antud töös tuli arvestada ka seda, et lühiajalised rohumaad sisaldasid 300 ha ulatuses 2019. aastal rajatud rohumaad, mida majandati ülejäänud lühiajalistest rohumaadest erinevalt (orgaanilise väetise mulda viimine enne rohumaad rajamist; erinev mineraalse N väetise norm). Pikaajaliste rohumaade puhul tuli arvestada, et 187 ha-lt toodeti silo, 76 ha-lt tehti heina, 10,6 ha-t kasutati karjatamiseks ning 80 ha-l teostati ainult hooldusniidet, kus niidetud heksel jäeti taimiku pinnale lagunema. Eelnevast tingitud ei olnud võimalik igale rohumaaklassile kütusekulu leida, mistõttu rohumaade puhul kasutati CFT kalkulaatorit töövõtete kaudu kütusekulu välja arvutamiseks.

Tuginedes ettevõttest saadud vedel- ja tahesõnniku labori analüüsitulemustele (tabel 2) arvutati iga kultuurile sõnnikuga mulda viidavad N kogused (kg N ha^{-1}) kasutades valemit:

$$N_{\text{org}} = V_s \times N_{\text{üld}},$$

kus N_{org} on sõnnikuga mulda viidud N norm (kg N ha^{-1}), V_s on tahe- või vedelsõnniku kogus hektarile (t ha^{-1} või $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, vastavalt) ja $N_{\text{üld}}$ on N kontsentratsioon tahe- ja vedelsõnnikus (kg t^{-1} või kg m^{-3} , vastavalt).

Tabel 2. Tahe- ja vedelsõnniku kuivaine ja üldlämmastiku ($N_{\text{üld}}$) kontsentratsioonid

Sõnnik	Kuivaine sisaldus	$N_{\text{üld}}$
Tahesõnnik	20,8%	4,1 kg t ⁻¹
Vedelsõnnik	5,73%	2,66 kg m ³

Sisestades andmed kalkulaatorisse, leiti C jalajälg ettevõttes kasvatatud iga kultuuri ja erinevalt majandatud rohumaade kohta. Tulemused saadi nii toodangu (terad, maaapealne biomass) massiühiku (kg CO₂e kg⁻¹), kui pindalaühiku (kg CO₂e ha⁻¹) kohta. Summeerides erinevate kultuuride C jalajäljed, leiti ettevõtte kogu taimekasvatusega seotud C jalajälg. Seejärel hinnati nii kogu ettevõtte taimekasvatuse põhiselt, kui kultuuride ja rohumaade kaupa, kuidas erinevatest allikatest pärinevad C jalajäljed (emissioonid) jagunesid. KHG emissioonide allikad on:

- väetise tootmine: mineraalväetise tootmisel tekkinud emissioon;
- väetamine: väetise (nii mineraalse kui orgaanilise) mulda viimisel tekkinud emissioon;
- taimekaitsevahendite tootmine: taimekaitsevahendite tootmisel tekkinud emissioon;
- energia (kütus): kütuse kasutamisest tulenev emissioon;
- taimejääkide mulda viimine: põhu või heksli maapinnale jätmine ja hiljem mullaga segamine.

C jalajälje vähendamise võimalusena testiti kahte stsenaariumit: (I) kasutusele võetakse N-sensor, millega on võimalik mineraalse N väetise kogust vähendada; antud töös eeldati, et mineraalse N väetise kogus väheneb keskmiselt 14%; (II) teraviljade ja maisi künnipõhiselt harimiselt minnakse üle otsekülvile. Selleks, et teada saada, kui palju otsekülv vähendab C jalajälge, selleks oli vaja teada saada, kui suur on emissioon tavakülvil. Otsekülvil KHG emissiooni saamiseks oli vaja kalkulaatoris töökäikudest eemaldada kündmine, kõrrekoorimine ja tavakülv tuli asendada otsekülviga.

3. TULEMUSED JA ARUTELU

3.1. Ettevõttes kasvatatud kultuuride agrotehnoloogia

3.1.1. Mais

Maisi kogu kasvupindala oli 214,7 ha. Enne külvi anti 183,0 ha-le vedelsõnnikut normiga 24 m³ ha⁻¹ (maisi kogu kasvupinna keskmine N norm oli 54,4 kg N ha⁻¹), vedelsõnnik viidi otse mulda randaaliga. Maisi tärkamisel tehti ühel korral umbrohutõrjet Maister Power OD-ga, mille norm oli 1–1,5 l ha⁻¹. Kasvuperioodi jooksul anti maisile mineraalväetistega juurde keskmiselt 105,6 kg N ha⁻¹, 31,0 kg P ha⁻¹, 117,1 kg K ha⁻¹, esimest korda anti mineraalväetist koos külviga ja teine kord kasvuperioodil. Maisi valmides kogu maapealne biomass koristati tervikkoristuseks silokombainiga. Pärast koristust laotati 57,8 ha põllule tahesõnnikut normiga 15 t ha⁻¹ (maisi kogu kasvupinna keskmine N norm oli 3,1 kg N ha⁻¹), mis künti koheselt mulda ja siluti randaaliga. Töövõtteid maisi kasvupinnal oli kokku 8.

3.1.2. Kaer

Kaera kasvatati 109,7 ha-l. Enne külvi laotati 61,8 ha-le vedelsõnnikut normiga 25 m³ ha⁻¹ (kaera kogu kasvupinna keskmine N norm oli 66,5 kg N ha⁻¹), mis viidi otse mulda randaaliga. Kaera kasvatamisel kasutati järgmisi taimekaitsevahendeid: umbrohutõrjeks Banvel 4S 0,2 l ha⁻¹ ja Kemira MCPA 750 1–2,5 l ha⁻¹, kasvuregulaatorit Cycocel 750 1–1,5 l ha⁻¹ ja haigus- ja tõrjeks Chamane 1 l ha⁻¹. Kasvuperioodi jooksul anti kaerale mineraalväetistega juurde keskmiselt 48,3 kg N ha⁻¹, 21,5 kg P ha⁻¹ ja 40,0 kg K ha⁻¹, esimene kord toimus väetamine koos külviga, teine kord kaera tärkamise ajal. Kaer koristati tervikkoristuseks silokombainiga. Pärast koristust 47,8 ha kaera kasvupindalast künti ja ülejäänud kasvupindala ainult randaaliti. Töövõtteid kaera kasvupinnal tuli kokku 8.

3.1.3. Oder

Odra kasvatati 46,6 ha-l, millest 5,4 ha koristati teraks (põhk eemaldati põllult) ja 41,2 ha saak läks tervikkoristuseks. Enne külvi laotati 20,2 ha-le (5,4 ha, kus saak koristati teraks ja 14,8 ha-le, kus saak koristati tervikkoristuseks) vedelsõnnikut normiga $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (odra kogu kasvupinna keskmine N norm oli teraks koristuse puhul 66,5 ja tervikkoristuse puhul 23,9 kg N ha^{-1}), vedelsõnnik viidi randaaliga otse mulda. Odra kasvatamisel kasutati järgmisi taimekaitsevahendeid: umbrohutõrjeks Banvel 4S 0,2 l ha^{-1} ja Profi MCPA 1–2,5 l ha^{-1} , haigustõrjeks Barclay Bolt XL 0,5 l ha^{-1} ja Tango Super 0,75–1,5 l ha^{-1} . Odrale anti mineraalväetistega juurde keskmiselt 32,5 kg N ha^{-1} , 20,9 kg P ha^{-1} ja 39,4 kg K ha^{-1} . Esimene väetamine toimus koos külviga ja teine väetamine kasvuperioodi jooksul. Oder koristati teraviljakombainiga, hiljem laotati 7,21 ha-le (5,4 ha-le, kus saak koristati teraks ja 1,81 ha-le, kus saak koristati tervikkoristuseks) tahesõnnikut normiga 20 t ha^{-1} (odra kogu kasvupinna keskmine N norm oli teraks koristuse puhul 82,6 ja tervikkoristuse puhul 3,6 kg N ha^{-1}). Pärast koristust kogu odra kasvupinnast 20,1 ha künti, ülejäänud randaaliti. Teraks koristatud kasvupinnal on töövõtteid tehtud kokku 10, tervikkoristusel töövõtteid kokku 9.

3.1.4. Suvinisu

Suvinisu kasvatati 91,6 ha-l, millest teraks koristati 75,3 ha (peale koristust kogu pind künti) ja tervikkoristuseks 16,3 ha (künti ainult 1,31 ha, ülejäänud osa randaaliti). Suvinisu teraks kasvatatud 62,3 ha-l tagastati pärast koristust põhk mulda, 13,0 ha-l põhk eemaldati põllult. 60,7 ha-le, kus põhk tagastati, anti enne külvi vedelsõnnikut normiga $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (suvinisu (teraks ja põhk mulda) kogu kasvupinna keskmine N norm oli 68,7 kg N ha^{-1}). Vedelsõnnik viidi otse mulda randaaliga. Alal, kus suvinisu koristusjärgselt põhk viidi põllult ära ja tervikkoristuse puhul orgaanilisi väetisi ei kasutatud. Suvinisu kasvatamisel kasutati järgmisi taimekaitsevahendeid: umbrohutõrjeks Banvel 4S 0,2 l ha^{-1} ja Kemira MCPA 750 1–2,5 l ha^{-1} , haigustõrjeks Falcon Forte 0,6–0,8 l ha^{-1} ja Capalo 1–2 l ha^{-1} , kasvuregulaatorid Medax Max 0,3–0,5 kg ha^{-1} . Suvinisu sai mineraalväetistega juurde keskmiselt 56,3 kg N ha^{-1} , 25,0 kg P ha^{-1} ja 46,7 kg K ha^{-1} . Esimene väetamine toimus koos külviga ja teine väetamine kasvuperioodi jooksul. Nisu koristati teraviljakombainiga. Hiljem laotati 15,8 ha-le, kus suvinisu oli teraks koristatud ja põhk mulda tagastatud, tahesõnnikut normiga 20 t ha^{-1} (suvinisu (teraks ja põhk mulda) kogu

kasvupinna keskmine N norm oli 20,7 kg N ha⁻¹). Teraks koristatud pinnal tehti töövõtteid kokku 9, tervikkoristusel oli töövõtteid kokku 9.

3.1.5. Talinisu

Talinisu kasvupind oli kokku 195 ha. Talinisu põldudel kasutati järgmisi taimekaitsevahendeid: kasvuregulaatorid Stablan 750SL 1–1,5 l ha⁻¹, haigustõrjeks Falcon Forte 0,6–0,8 l ha⁻¹, umbrohutõrjeks Zypar 0,75–1 l ha⁻¹ ja TBM 75WG 20 g ha⁻¹. Talinisu põllule on mineraalväetistega keskmiselt antud 168,6 kg N ha⁻¹. Orgaanilist väetist anti 168 ha-le, sellel osal viidi ka põhk mulda. Põllule anti vedelsõnnikut normiga 25 m³ ha⁻¹ (57 kg N ha⁻¹) ja tahesõnnikut normiga 15 t ha⁻¹ (12,8 kg N ha⁻¹). Esimene väetamine toimus külviga koos ja kasvuperioodil väetati veel kahel korral. Talinisu koristati teraviljakombainiga. Põhk eemaldati 27 ha-lt, ülejäänud osalt künti mulda. Kogu talinisu kasvupinnast künti 43,1 ha, ülejäänud randaaliti. Koristamata põhuga talinisu põllul tehti töövõtteid kokku 9, koristatud põhuga talinisu põllul tehti töövõtteid kokku 9.

3.1.6. 2019. aastal rajatud rohumaad

2019. aastal rajati juurde 300 ha rohumaad. Enne külvi põld kultiveeriti. Põllule anti vedelsõnnikut normiga 24 m³ ha⁻¹ (63,8 kg N ha⁻¹) ja tahesõnnikut normiga 15 t ha⁻¹ (61,5 kg N ha⁻¹). Taimikule anti juurde mineraalväetistega keskmiselt 40 kg N ha⁻¹. Põllul teostati kasvuperioodi jooksul kaks hooldusniidet ja üks niide silokogumiseks, niidetud mass vaalutati ja koguti silokombainiga. Töövõtteid nendel rohumaadel tehti kokku 14.

3.1.7. Lühiajaline rohumaad

Lühiajalisi (kõrreliste ja liblikõieliste seguga ning põldheina) rohumaad oli kokku 598,9 ha. Kevadel rohumaad äestati. Keskmiselt anti mineraalväetistega juurde 165 kg N ha⁻¹, taimekaitsevahenditest kasutati 194 ha-l glüfosaati Roundupi normiga 4 l ha⁻¹ ja glüfosaati Ranger 4 l ha⁻¹ 106 ha-l. Lühiajalisel rohumaal kasutati glüfosaate, kuna rohumaad läks ümber rajamiseks.

Rohumaadel teostati kolm niidet, niitmisjärgselt vaalutati ja koristati silokombainiga. Töövõtteid tehti kokku 12.

3.1.8. Pikaajaline rohumaa

Pikaajalisi rohumaid oli kokku 354,1 ha, sellest 187,4 ha-lt tehti silo, 76,1 ha-lt heina, 10,6 ha-l karjatati. 80 ha-l teostati ainult hooldusniidet ja niitmisjärgselt jäeti heksel taimiku pinnale lagunema. Rohumaid, kust tehti silo ja heina, kevadel äestati. Rohumaid, kust tehti silo, niideti kolm korda, niitmisjärgselt vaalutati ja koristati silohekseldiga, töövõtteid tehti kokku 12. Rohumaid, kus tehti heina, niideti ühe korra. Niidetud taimne materjal vaalutati ja pressiti pallideks, töövõtteid tehti kokku 5. Karjatatud rohumaa lisaks karjatamisele tehti ka hooldusniide, töövõtteid oli kokku 4. Neid rohumaid, kust teostati ainult hooldusniide, ei väetatud ning töövõtteid tehti kokku üks.

3.2. Ettevõtte kogu C jalajälg taimekasvatusest

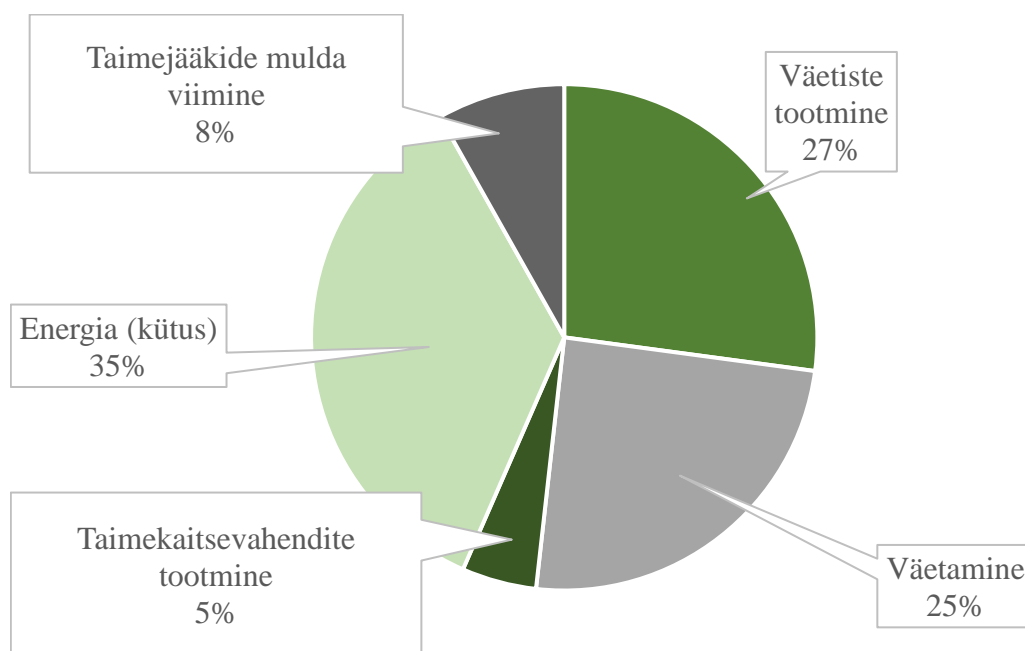
Ettevõtte taimekasvatuse kogu C jalajälg oli 2450 t CO₂e (tabel 3).

Tabel 3. Taimekasvatusest tulenev C jalajälg erinevatest allikatest

Emissiooniallikad	C jalajälg, t CO ₂ e
Väetise tootmine	664
Väetamine	604
Taimekaitsevahendite tootmine	116
Energia (kütus)	864
Taimejääkide mulda viimine	200
Kogu C jalajälg	2450

Suurema osa (35%) C jalajäljest moodustab kütuste kasutamine põllutööl (joonis 1). Kütuste kasutamisest tulenev C jalajälg oli 864 t CO₂e (tabel 3). Teine peamine C jalajälje allikas oli seotud väetiste tootmisega, mis andis 664 t CO₂e, moodustades kogu C jalajäljest 27%. Väetamisel tekkiv C jalajälg oli veidi väiksem (604 t CO₂e), moodustades koguemissioonist 25% (joonis 1). Väetamisega seotud C jalajälg moodustas kokku 52% kogu taimekasvatusega seotud

C jalajäljest. Gan jt. (2011) hinnangul moodustas mineraalsete väetistega seotud C jalajälg keskmiselt 65% kogu C jalajäljest, millest 27% oli seotud väetamisega ja 38% väetiste tootmise, transpordi ja vahepealsete ladustamistega. Väiksema C jalajäljega oli taimejääkide mulda viimine (200 t CO₂e) ja kõige väiksema C jalajälje andis taimekaitsevahendite tootmine, 116 t CO₂e (tabel 3).



Joonis 1. Taimekasvatuse C jalajälje jaotus erinevate emissiooniallikate vahel

3.2.1 Teraviljakasvatuse C jalajälg

Kõige suurema C jalajäljega kultuurid olid mais ja talinisu, mille põhk viidi mulda tagasi (tabel 4), kuid see oli tingitud sellest, et nende kultuuride kasvupindala ettevõttes oli kõige suurem. Kõige suurem C jalajälg ühe hektari kohta oli talinisu puhul, sest talinisu väetati võrreldes teiste kultuuridega suuremate mineraalsete ja orgaanilise väetise kogustega, samuti suurendab C jalajälge põhu mulda viimine. Põhu viimisel mulda emiteerub taimejäätmete lagunemise käigus N₂O ja see põhjustab C jalajälge. Ühe hektari kohta oli suur C jalajälg ka suvinisul, mille põhk viidi koristusjärgselt mulda. Suvinisu suure heite põhjuseks oli see, et väetamisel kasutati mineraalväetisi, mis olid toodetud Venemaal. Venemaal toodetud väetised põhjustavad suurema C jalajälje, kuna seal toimub väetiste tootmine ilma piiranguteta ja neil pole seatud kliimaeesmärke. Samal ajal on Euroopas väetist tootvatel ettevõtetel piirangud ja nad peavad arvestama,

et väetise tootmisest ei tekiks suurt heiteid jalajälge (Brentrup jt., 2016). Suvinisu suuremat emissiooni põhjustas ka suurema koguse põhu mulda viimine, sest suvinisu põhu kogus oli suurem kui talinisu, 5,5 t ha⁻¹ ja 4 t ha⁻¹, vastavalt. Kanadas läbiviidud uuringus 25% kogu C jalajäljest oli tingitud mulda tagastatud põhust (Gan jt., 2011).

Ettevõtte teraviljakasvatuse C jalajalg lõpptoodangu massi kohta oli kõige suurem suvinisu, mille põhk oli mulda viidud (0,28 kg CO₂e kg⁻¹) (tabel 4). Põhu eemaldamisel oli suvinisu C jalajalg väiksem (0,20 kg CO₂e kg⁻¹). Gonzales jt. (2011) leidsid, et nisu C jalajalg on 0,38 kg CO₂e kg⁻¹. Hummuli Agro OÜ väiksem C jalajalg võib olla tingitud sellest, et C jalajälje sisse pole arvatud kultuuri transportimist kokkuostupunktidest nii nagu on tehtud Gonzalez jt. (2011) arvutustes. C jalajälgede erinevused võivad olla põhjustatud ka kultuuride kasvatamisel kasutatud agrotehnoloogiate poolest.

Tabel 4. Teraviljakasvatusega seotud pindalad, lämmastik (N)-väetise normid, saagikused ja C jalajäljed kultuuride kaupa

Kultuurid	Pindala, ha	N norm, kg N ha ⁻¹	Saagikus, t ha ⁻¹	Kogu C jalajalg, t CO ₂ e	C jalajalg pindala kohta, kg CO ₂ e ha ⁻¹	C jalajalg massi kohta, kg CO ₂ e kg ⁻¹
Teraviljakasvatus (niiskus 13,5%)						
Suviuder	5,4	33 ¹ + 150 ²	7,4	6	1090	0,148
Talinisu (põhk koristatud)	27	168 + 0	7,3	35	1310	0,180
Suvinisu (põhk koristatud)	13	52 + 0	5,9	16	1200	0,201
Talinisu (põhk mulda)	168	168 + 70	7,9	284	1690	0,231
Suvinisu (põhk mulda)	62,3	52 + 88	5,9	104	1670	0,283
Tervikkoristus (kuivaine sisaldus ligikaudu 30%)						
Mais	214,7	106 + 58	34,6	280	1300	0,038
Suviuder	41,2	33 + 28	13,5	31	750	0,050
Suvinisu	16,3	52 + 0	14,5	20	1200	0,082
Kaer (küntud)	47,8	48 + 0	9,6	56	1160	0,121
Kaer (randaalitud)	61,9	48 + 67	9,6	83	1350	0,140

¹ mineraalväetisega antud N norm; ² orgaanilise väetisega antud N norm

Hummuli Agro OÜ talinisu kasvatamise C jalajälg oli 0,18 kg CO₂e kg⁻¹. Gonzalez jt. (2011) töös leiti, et Rootsi tingimustes nisu kasvatamise C jalajälg oli 0,38 kg CO₂e kg⁻¹. Hummuli Agro OÜ suvinisu suurem C jalajälg võrreldes talinisuga ühe tonni terasaagi kohta tulenes ka sellest, et suvinisu terasaak ühe tonni kohta oli väiksem võrreldes nt. talinisuga.

Hummuli Agro OÜ maisi C jalajälg oli 0,038 kg CO₂e kg⁻¹ (tabel 4) aga Gonzales jt. (2011) andmetel maisi C jalajälg USA tingimustes oli 0,73 kg CO₂e kg⁻¹. Maisi kasvatamise C jalajälg Gonzalez jt. (2011) töös oli arvutatud USA-s kasvatatud maisi kohta (Gonzalez jt., 2011). Enamasti kasvatatakse USA-s maisi terade eesmärgil, Hummuli Agros kasvatatakse mais tervik-
koristuse eesmärgil, millest valmistatakse silo.

Kõige väiksema C jalajäljega (0,15 kg CO₂e kg⁻¹), kultuur oli suviuder Gonzalez jt. (2011) leidsid, et odra C jalajälg on 0,43 kg CO₂e kg⁻¹. Tervikkoristatud kultuurides on suurima C jalajäljega kaer 0,14 kg CO₂e kg⁻¹, mis koristuse järgselt randaaliti, Gonzalez jt. (2011) andmetel oli kaera C jalajälg on 0,47 kg CO₂e kg⁻¹.

3.2.2. Rohumaade C jalajälg

Rohumaadest kõige suurema C jalajäljega oli lühiajaline rohumaa, kuna nende kasvupindala oli kõige suurem (tabel 5).

Tabel 5. Rohumaade kasvupindalad, lämmastik (N)-väetise normid, saagikused ja KHG emissioonid kultuuride kaupa

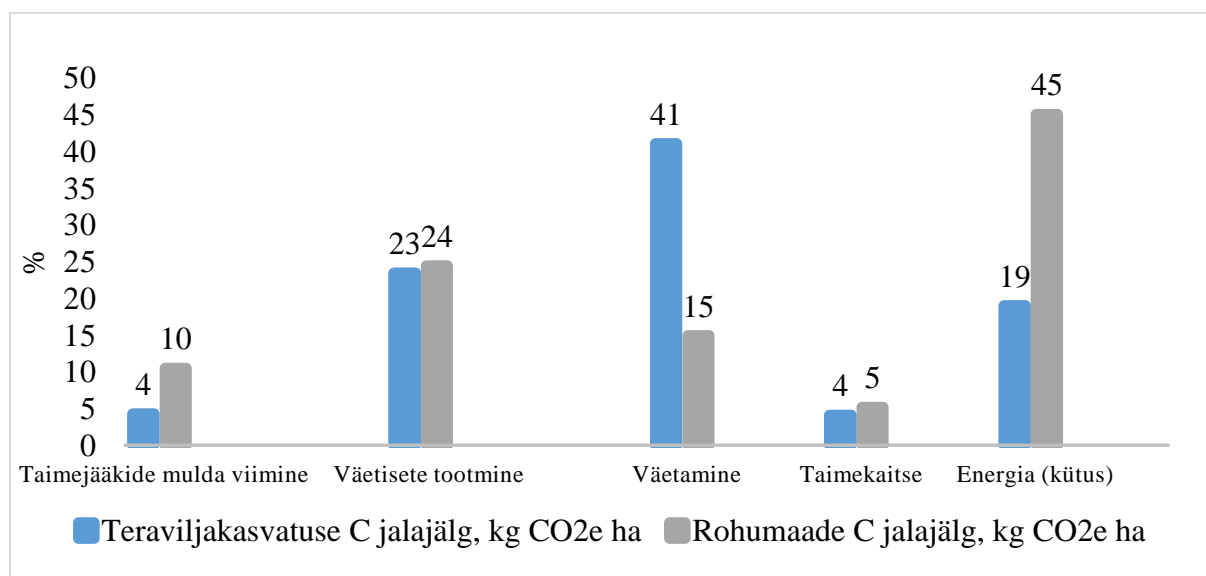
Erinevalt majandatud rohumaad	Pindala, ha	N norm kg N ha ⁻¹	Saagikus t ha ⁻¹	Kogu C jalajälg, t CO ₂ e	C jalajälg pindala kohta, kg CO ₂ e ha ⁻¹	C jalajälg massi kohta, kg CO ₂ e kg ⁻¹
Pikaajaline rohumaa (karjatamine)	10,6	0 ¹ + 0 ²	20	0,9	90	0,005
Pikaajaline rohumaa (hein)	73,1	0 + 0	20	9	124	0,006
Pikaajaline rohumaa (silo)	187,4	0 + 0	20	113	602	0,03
2019. aastal rajatud rohumaad	300	40 + 125	23,6	344	1150	0,049
Lühiajaline rohumaa	598,9	165 + 0	23,6	900	1503	0,064
Pikaajaline rohumaa (hekseldamine)	80	0 + 0	20	168	2100	0,105

¹ mineraalväetisega antud N norm; ² orgaanilise väetisega antud N norm

Samas lühiajaliste rohumaaade (sh. 2019. aastal rajatud) C jalajäljed pindala ja massiühiku kohta olid samuti suuremad võrreldes pikaajaliste rohumaaadega, sest nendele rohumaaadele anti mineraalset ja orgaanilist väetist, samuti tehti nendel põldudel rohkem töökäike. Ühe hektari ja ühe tonni kohta oli C jalajälg kõige suurem pikaajalisel rohumaal, kus niitmise käigus jäeti hekseldatud mass mulla pinnale.

3.3. Teraviljakasvatuse ja rohumaaade C jalajälje jagunemised sõltuvalt emissiooniallikatest

Väetiste tootmisest tulenev C jalajälg teraviljakasvatusel ja rohumaaadel on sarnane (joonis 2), sest keskmised kasutatud mineraalväetise kogused on samad. Kuna teraviljakasvatuses kasutati rohkelt mineraalväetisi ja orgaanilisi väetiseid, siis on ka väetamisest tulenev C jalajälg suurem kui rohumaaadel (joonis 2). Taimekaitsevahendite tootmisest tingitud C jalajälg oli teraviljakasvatusel ja rohumaaadel sarnane. Teraviljakasvatuses kasutati taimekaitsevahendeid kõikidel kultuuridel, kuna kvaliteetse teravilja saamiseks tuleb tõrjuda haigusi ja kahjureid. Kütuse kasutamisest tingitud C jalajälg oli suurem rohumaaadel, kuna suuremat pindadel toimus töökäike rohkem, eriti suure C jalajäljega oli silokombainiga töötamine. Taimejääkide mulda viimisel tekkis samuti suurem C jalajälg rohumaaadel ja kõige rohkem tekitas hekseldatud massi mulla pinnale jätmine (joonis 2).



Joonis 2. Teraviljakasvatuse ja rohumaaade C jalajälje jagunemine erinevate emissiooniallikate vahel

3.4. N-sensori kasutamine

Kalkulaatoriga testiti, kui palju vähendab N-sensori kasutamine väetamisel C jalajälge. Kõige rohkem vähenes C jalajalg talinisul, mille puhul viidi põhk mulda, C jalajalg vähenes 9,3%. Kõige vähem vähenes C jalajalg 2019. aastal rajatud rohumaadel (tabel 6).

Tabel 6. C jalajälje muutused N-sensori kasutamisele võtmisel

Kultuur	Kogu C jalajalg, t CO ₂ e	C jalajalg massi kohta, kg CO ₂ e kg ⁻¹	Kogu C jalajalg, t CO ₂ e	C jalajalg massi kohta, kg CO ₂ e kg ⁻¹	C jalajälje vähenemine %
	N-sensorita		N-sensoriga		
Mais	280	0,038	263	0,036	-6,0
Suvioder (tervikkoristus)	31	0,050	30	0,049	-3,0
Suvinisu (tervikkoristus)	20	0,082	18	0,076	-7,9
Kaer (tervikkoristus, küntud)	56	0,121	52	0,112	-7,3
Kaer (tervikkoristus, randaalitud)	83	0,140	76	0,128	-8,6
Suvioder (teraks)	6	0,148	5	0,144	-2,7
Talinisu (teraks, põhk koristatud)	35	0,180	32	0,163	-9,3
Suvinisu (teraks, põhk koristatud)	16	0,201	14	0,199	-7,3
Talinisu (teraks, põhk mulda)	283,6	0,231	263	0,224	-7,2
Suvinisu (teraks, põhk mulda)	104	0,283	98	0,282	-5,3
Pikaajaline rohumaa (karjatamine)	1	0,005	-*	-	-
Pikaajaline rohumaa (hein)	9	0,006	-	-	-
Pikaajaline rohumaa (silo)	113	0,03	-	-	-
2019. aastal rajatud rohumaad	344	0,049	338	0,048	-1,9
Lühiajaline rohumaa	900	0,064	845	0,06	-6,2
Pikaajaline rohumaa (hekseldamine)	168	0,105	-	-	-
C jalajalg kokku	2450	-	2327	-	-5,5

*mineraalväetisi ei kasutatud

C jalajalg kogu taimekasvatusest (teraviljakasvatus ja rohumaad) vähenes 5% (tabel 6). Kevadisel rohumaade väetamisel võib N-sensori kasutamisega esineda probleeme, kuna kevadel

pole rohumaad rohelised ja N-sensoril ei õnnestu tagasi peegelduvad valgust hinnata ja selle tulemusel N-sensor ei tee seda ülesannet, mida see peaks tegema.

3.5. Otsekülvi kasutamine

Otse- ja tavakülvi C jalajälgede erinevus oli väike (1%) (tabel 7).

Tabel 7. C jalajälje muutused otsekülvi kasutusele võtmisega

Kultuur	Kogu C jalajalg, t CO ₂ e	C jalajalg massi kohta, kg CO ₂ e kg ⁻¹	Kogu C jalajalg, t CO ₂ e	C jalajalg massi kohta, kg CO ₂ e kg ⁻¹	C jalajälje vähenemine %
	Tavakülviga		Otsekülviga		
Mais	280	0,038	272	0,037	-2,9
Suvioder (tervikkoristus)	31	0,050	29	0,048	-5,0
Suvinisu (tervikkoristus)	20	0,082	19	0,081	-1,1
Kaer (tervikkoristus, küntud)	56	0,121	54	0,118	-2,4
Kaer (tervikkoristus, randaalitud)	83	0,140	81	0,135	-3,4
Suvioder (teraks)	6	0,148	5	0,144	-2,7
Talinisu (teraks, põhk koristatud)	35	0,180	35	0,177	-1,6
Suvinisu (teraks, põhk koristatud)	16	0,201	15	0,197	-2,1
Talinisu (teraks, põhk mulda)	284	0,231	278	0,226	-2,0
Suvinisu (teraks, põhk mulda)	104	0,283	102	0,278	-1,5
Pikaajaline rohumaa - karjatamine	1	0,005	-*	-	-
Pikaajaline rohumaa (hein)	9	0,006	-	-	-
Pikaajaline rohumaa (silo)	113	0,03	-	-	-
2019. aastal rajatud rohumaad	344	0,049	-	-	-
Lühiajaline rohumaa	900	0,064	-	-	-
Pikaajaline rohumaa (hekseldamine)	168	0,105	-	-	-
C jalajalg kokku	2450	-	2428	-	-0,9

* otsekülvi ei rakendatud

Peamiselt on otsekülviga võimalik kokku hoida kütusekulu, kuna külvielselt pole vaja maad harida. Kõige rohkem vähenes C jalajalg tervikkoristatud suviodel (5%). Otsekülvi kasutusele

võtmisega on arvutused tehtud nii, et rohumaaadel pole kasutatud otsekülvi. Rohumaadel oleks võimalik ka rakendada otsekülvi, kui näiteks peale teravilja koristust külvata heinaseemned otse kõrde. Kui rakendada rohumaaadel ka otsekülvi, väheneks ka rohumaaade C jalajälg.

3.6. N-sensori ja otsekülvi kasutamine

Kui teraviljade ja maisi kasvatamisel rakendada nii N-sensorit, kui ka otsekülvi, siis kõige rohkem väheneb C jalajälg talinisul, mille põhk on mulda viidud (-10,1%) (tabel 8).

Tabel 8. C jalajälje muutus N-sensori ja otsekülvi koostõul

Kultuur	Kogu C jalajälg, t CO ₂ e	C jalajälg massi kohta, kg CO ₂ e kg ⁻¹	Kogu C jalajälg, t CO ₂ e	C jalajälg massi kohta, kg CO ₂ e kg ⁻¹	C jalajälje vähenemine %
	N-sensorita ja otsekülvita		N-sensori ja otsekülviga		
Mais	280	0,038	255	0,035	-8,8
Suviuder (tervikkoristus)	31	0,050	28	0,046	-8,0
Suvinisu (tervikkoristus)	20	0,082	18	0,075	-9,0
Kaer (tervikkoristus, küntud)	56	0,121	50	0,109	-9,8
Kaer (tervikkoristus, randaalitud)	83	0,140	75	0,127	-9,6
Suviuder (teraks)	6	0,148	5	0,141	-4,8
Talinisu (teraks, põhk koristatud)	35	0,180	32	0,162	-10,1
Suvinisu (teraks, põhk koristatud)	16	0,201	14	0,182	-9,4
Talinisu (teraks, põhk mulda)	284	0,231	258	0,210	-9,1
Suvinisu (teraks, põhk mulda)	104	0,283	97	0,264	-6,8
Pikaajaline rohumaa (karjatamine)	1	0,005	.*	-	-
Pikaajaline rohumaa (hein)	9	0,006	-	-	-
Pikaajaline rohumaa (silo)	113	0,03	-	-	-
2019. aastal rajatud rohumaad	344	0,049	338	0,048	-1,9
Lühiajaline rohumaa	900	0,064	845	0,06	-6,2
Pikaajaline rohumaa (hekseldamine)	168	0,105	-	-	-
C jalajälg kokku	2450	-	2307	-	-5,8

* otsekülvi ei rakendatud

N-sensori ja otsekülvi kasutusele võtmine vähendab rohkem emissiooni teraviljadel, sest rohumaa del otsekülvi ei testitud, seega rohumaa del C jalajälg suurel määral ei vähene. Ettevõtte kogu taimekasvatuse C jalajälg väheneb N-sensori ja otsekülviga -5,8%.

KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli uurida erinevate kultuuride kasvatamise tagajärjel tekkivad C jalajälge ja leida võimalusi C jalajälje vähendamiseks. C jalajälje arvutamiseks kasutati Hummuli Agro OÜ kultuuride agrotehnoloogiat ja sisendeid. C jalajälje arvutamiseks kasutati kalkulaatorit *Cool Farm Tool*.

Hummuli Agro OÜ taimekasvatuse kogu C jalajälg on 2450 t CO₂e, millest suurem osa oli põhjustatud kütuste kasutamisest ja väetiste tootmisest. Teraviljakasvatuse keskmine emissioon oli 0,21 kg CO₂e kg⁻¹ lõppsaagi kohta. Teraviljakasvatuses oli suurema C jalajäljega kultuur suvinisu (0,28 kg CO₂e kg⁻¹), mille puhul koristusjärgselt viidi põhk mulda. Suvinisu suurema C jalajälje põhjuseks oli Venemaalt pärit mineraalväetiste kasutamine, samuti oli suvinisul suur põhu saak, mis mulda viidi. Teraviljakasvatuse suurima C jalajälje allikaks oli mineraal- ja orgaaniliste väetiste mulda viimine. Tervikkoristatud kultuuride keskmine emissioon oli 0,086 kg CO₂e kg⁻¹. Tervikkoristatud kultuuridest oli suurima C jalajäljega kaer (0,14 kg CO₂e kg⁻¹), mis on koristuse järgselt randaalitud. Tervikkoristatud kultuuride C jalajälg oli tingitud suures osas oli mineraal- ja orgaaniliste väetiste mulda viimisest. Rohumaade keskmine emissioon oli 0,043 kg CO₂e kg⁻¹. Rohumaadest oli suurema C jalajäljega pikaajaline rohumaa (0,105 kg CO₂e kg⁻¹), kus niitmisjärgselt jäeti hekseldatud mass jäeti maapinnale lagunema, millest tulenev mõju oli C jalajäljele suurim võrreldes teiste emissiooniallikatega.

Teraviljade kasvatamise C jalajälg lõpptoodangu massi kohta oli suurem võrreldes tervikkoristuse ja rohumaadelt loomasööda tootmisega.

C jalajälje vähendamise võimalustena võib kasutada N-sensorit väetamisel ja rakendada otsekülvi. N-sensori kasutusele võtmisega vähenes arvutatud C jalajälg ettevõttes 5%, otsekülviga 0,9% ja kui kasutada nii N-sensorit ja kui otsekülvi siis C jalajälg vähenes 5,8%.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Blair, N., Faulkner, R.D., Till, A.R., Poulton, P.R. (2006). Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. *Soil and Tillage Research*, 91, 30–30.
- Brentrup, F., Hoxha, A., Christensen, B. (2016). Carbon footprint analysis of mineral fertilizer production in Europe and other world. 10th International Conference on Life Cycle Assessment of Food, 482–490.
- Eesti süsiniku jalajälg – Allikas: <http://www.tuuleliit.ee/eesti-susiniku-jalajalg/>. Kasutatud: 16.05.2021
- Couwenberg, J. (2009). Emission factors for managed peat soils (organic soils, histosols). An analysis of IPCC default values. *Wetlands International*, Ede 16 p.
- Gan, Y., Liang, C., Wang, X., McConkey, B. (2011) Lowering carbon footprint of durum wheat by diversifying cropping systems. *Field Crop Research*, 122, 199–206.
- Gill, R. A., Burke, I. C. (2002). Influence of soil depth on the decomposition of *Bouteloua gracilis* roots in the shortgrass steppe. *Plant and Soil* 241, 233–242.
- Põllumajandusloomade poolt eritavate kasvuhoonegaaside emissiooni analüüs. (2015). Aruanne. Eesti Maaülikool. 51 lk.
- Gonzalez, A. D., Frostell, B., Kanyama, A. C. (2011). Protein efficiency per unit energy and per unit greenhouse gas emissions: Potential contribution of diet choices to climate change mitigation. *Food Policy*, 35, 562–570.
- Greenhouse Gas Emissions. (14. aprill 2021. a.). Allikas: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>. Kasutatud: 02.05.2021
- Guo, J. H., Liu, X. J., Zhang, Y., Shen, J. L., Han, W. X., Zhang, W. F, Christie, P., Goulding, K. W. T., Vitousek, P., M, Zhang, F. S. (2010) Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, 327, 1008–1010.
- IPCC, 2006. IPCC 2006 Revised Good Practice Guidelines for Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Institute for Global Environmental Strategies, Tokyo, Japan.

- Hillier, J., Walter, C., Malin, D., Garcia-Suarez, T., Mila-i-Canals, L., Smith, P. (2011). A farm-focused calculator for emissions from crop and livestock production. *Environmental Modelling and Software*, 26, 1070–1078.
- Järvan, M. (2018). Sõnniku mõjust maheviljeluslikult majandatavas külvikorras. *Agraarteadus*, Agraarteadus, XXIX, lk. 1–12.
- Kangur, M. (2019). Kas ökoloogilise jalajälje mudel tuleks ajakohasema vastu välja vahetada? *Eesti loodus*, lk. 21–23.
- Kasvuhooneefekt ja kasvuhoonegaasid. (2018). Allikas: <https://www.envir.ee/et/kasvuhoone-efekt>. Kasutatud: 28.05.2021
- Kasvuhooneefekt - Allikas: <https://chemicalsinourlife.echa.europa.eu/et/global-warming-and-chemicals>. Kasutatud: 18.05.2021
- Kauer, K., Tein, B., Sanches de Cima, D., Talgre, L., Ereemeev, V., Loit, E., Luik, A. (2015). Soil carbon Dynamics estimation and dependence on farming system in temperate climate. – *Soil and Tillage Research*, 154, 53–63.
- Kliimamuutused ja põllumajandus. (27. oktoober 2014. a.). Allikas: <https://www.pikk.ee/kliimamuutused-ja-pollumajandus/?cookie-state-change=1620553581713>. Kasutatud: 15.02.2021
- Kliimamuutuste mõju inimeste, loomade ja taimede tervisele. 2009. Valge raamat. Kliimamuutustega kohanemine: Euroopa tegevusraamistik, Brüssel.
- Kliimamuutuste mõjuanalüüs, kohanemisstrateegia ja rakenduskava looduskeskkonna ja bio-majanduse teemavaldkondades. (2015). Projekti BioClim lõpparuanne (alusuuring).
- Kokkuvõte Eesti KHG inventuuri 1990–2018 põllumajandussektorist. (2018a). Keskkonnaministeerium. Allikas: https://www.envir.ee/sites/default/files/content-editors/Kliima/Inventuur/3._pollumajandussektori_kokkuvote_2020.pdf. Kasutatud: 19.05.2021
- Kokkuvõte Eesti KHG inventuuri 1990–2018 energeetikasektorist. (2018b). Allikas: https://www.envir.ee/sites/default/files/content-editors/Kliima/Inventuur/1._energeetika-sektori_kokkuvote_2020.pdf. Kasutatud: 19.05.2021
- Lal, R. (2004a). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304, 1623–1627
- Lal, R. (2004b). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123 (1-2), 122.

- Liu, C., Cutforth, H., Chai, Q., Gan, Y. (2016). Farming tactics to reduce the carbon footprint of crop cultivation in semiarid areas. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36, 69.
- Maheviljeluse eri viiside ja tavaviljeluse mõju võrdlemine mulla viljakusele ja elustikule ning põllukultuuride saagikusele ja kvaliteedile (2013–2014). (2014) Põllumajanduslikud rakendusuuringud ja arendustegevus aastatel 2009–2014. Aruanne. Eesti Taimekasvatuse Instituut. 30 lk.
- Minimeeritud harimise mõju muldade omadustele ja keskkonnaseisundile. (2017). Aruanne. Põllumajandusuuringute Keskus. 11 lk.
- Ogle, S. M., Alsaker, C., Baldock, J., Bernoux, M., Breidt, F. J., McConkey, B., Regina, K., Amabile, G. V. (2019). Climate and Soil Characteristics Determine Where No-Till Management Can Store Carbon in Soils and Mitigate Greenhouse Gas Emissions. *Scientific Reports*, 9, 11665.
- Putku, E., Penu, P. (2018). Orgaanilise süsiniku seisund otsekülvi ja künniga haritavatel põldudel. *Agronoomia* 2018. Tartu, lk 15–21.
- Saastuse kompleksne vältimine ja kontroll (2013). Keskkonnaministeeriumi tellimus. https://www.envir.ee/sites/default/files/pvt_tooversioon_28_03_2014.pdf 12.05.2021
- Skinner, C., Gattinger, A., Muller, A., Mäder, P., Fliebach, A., Stolze, M., Ruser, R., Niggli, U. et al. (2014) Greenhouse gas fluxes from agricultural soils under organic and non-organic management – a global meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 468–469, 553–563
- Smith, L. G., Kirk, J. D., Jones, P. J., Williams, A. G. (2019) The greenhouse gas impacts of converting food production in England and Wales to organic method. *Nature Communications*, 10, 641.
- Clark, S (2020) Organic Farming and Climate Change: The Need for Innovation. *Sustainability*, 12, 7012.
- Tebrügge, F., Düring, R. A. (1999). Reducing tillage intensity- a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research*, 53, 15–26.
- The Carbon Footprint of Crop Protection Products. (2012), CropLife International. Allikas: <https://www4.unfccc.int/sites/SubmissionsStaging/Documents/201811071654---CLI%20Submission%20Carbon%20Footprint.pdf>. Kasutatud: 15.05.2021

- Tong, X., Xu, M., Wang, X., Bhattacharyya, R., Zhang, W., Cong, R. (2013). Long-term fertilization effects on organic carbon fractions in a red soil of China. *Catena*, 113, 251–259.
- Vetemaa, A., Mikk, M. (2015) Mahepõllumajandus Eestis 2014. Organic farming in Estonia 2014. (2015). Tallinn: Põllumajandusministeerium. /Koost. Eesti Mahepõllumajanduse sihtasutus.
- World Greenhouse Gas Emissions. (2016). World Resources Institute. <https://www.wri.org/data/world-greenhouse-gas-emissions-2016>. Kasutatud: 16.05.2021
- Yara.ee. (2021). Allikas: Yara: <https://www.yara.ee/seadmed-rakendused-apid/n-sensor/>. Kasutatud: 20.04.2021.

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, _____ Kristjan Riik _____,

Sünniaeg; _____ 19/04/1998 _____.

annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

_____ Põllumajandusettevõtte taimekasvatuse süsiniku jalajälg _____ ,

mille juhendajad on Karin Kauer ja Are Selge.

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____

allkiri

Tartu, 19.05.2021

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

_____ Karin Kauer _____

(juhendaja nimi ja allkiri)

_____ Are Selge _____

(juhendaja nimi ja allkiri)

_____ 19.05.2021 _____

(kuupäev)

_____ 19.05.2021 _____

(kuupäev)